第十章 菇類木屑堆肥製造技術之開發

簡宣裕[1] 莊作權[2]

行政院農業委員會農業試驗所[1] 國立中興大學土壤環境科學系[2]

摘 要

臺灣一年栽培菇類之後廢棄木屑有 119,250 公噸，其中廢棄香菇木屑量為 54,000 公噸，所佔的比例最大。大部份的菇類栽培期皆集中於秋天至春天之間，在晚春至初夏時菇農將廢棄木屑清出菇舍，故這段時間有大量且集中的廢棄木屑產生。以前菇農對廢棄菇類木屑的處理方式大多採取直接傾倒於窪地、河道或偏避小道的方式或如同燃燒稻草的習慣在空地處加以焚燒，如此不但將寶貴的有機物資源浪費掉，而且造成環境的污染。

食用菇類栽培過程可能夾帶如 *Fusarium* 等雜菌，此些微生物對於作物的生長可能是有害的，故不加以堆肥化就直接施用，會使作物發生病害的機率增加，且廢棄菇類木屑的纖維素、有機碳含量高，雖可資源化再循環利用，但因還含有許多易被微生物利用的有機物，若不加以處理就施用於土壤，則微生物的族群會迅速繁衍，造成與作物競爭養分、作物根部周圍溫度太高及缺乏氧氣而窒息，故廢棄菇類木屑最好先與含氮量高的雞糞混合，以降低碳氮的比例，提供氮源供發酵過程中微生物使用，加速堆肥化，使其性質穩定化後再使用，較為妥當。

將廢棄香菇木屑與雞糞以三種不同比例配方混合後研製堆肥，瞭解堆肥化過程的成分變化，及不同肥培對小白菜生長的影響。結果顯示於發酵過程中，大致三種配方之 pH 與全氮濃度均逐漸增加，電導度先下降然後再上升，有機碳含量、碳氮的比值及氨氣濃度逐漸減少。木屑與雞糞依乾重以 16：4 或 32：4 混合者，氨氣濃度顯著較少，且可在八星期內趨近於穩定腐熟。三種配方堆肥的 pH 值、全氧化鈣濃度及全氧化鎂濃度相近，電導度、全氮濃度、全磷濃度及全鉀濃度，則依配方 A（8：4）＞ 配方 B （16：4） ＞ 配方 C （32：4） 順序遞減，將堆肥施入土壤，前三天內土壤的微生物菌數最多。盆栽結果獲知配方 A 堆肥最有利於小白菜生長，其次為配方 B 堆肥。盆栽土壤 3 kg 施用 12 g 堆肥，若把堆肥養分（氮、磷及鉀）含量，按 1/5 或 1/2 為有效養分估算，然後以化學肥料補足，相當於每盆施用 0.360 g 有效性氮、 0.215 g 磷酐、 0.288 g 氧化鉀，進行盆栽，小白菜產量皆比只施用化學肥料者高，且達顯著差異水準。

一、菇類廢棄太空包木屑須經發酵過程製成堆肥之原因

（一）廢棄菇類木屑數量與以往處理方式

台灣地區每年有機質廢棄物數量，據估計為果菜市場廢棄物 704,304 公噸、農產廢棄物 6,208,418 公噸、家禽排泄物 5,095,078 公噸、家畜排泄物 8,533,558 公噸、漁產廢棄物 270,186 公噸，合計 20,811,544 公噸 （楊，1991） 。農產廢棄物雖然比家畜排泄物略為少量，但比家禽排泄物量多，佔年有機質廢質物數量的 30 ％ 左右。食用菇廢棄太空包木屑，是屬於農產廢棄物之一部

份。依據調查資料，台灣一年食用菇太空包栽培數量，香菇 12,000 萬包、木耳 9,000 萬包、鮑魚菇 500 萬包、金針菇 5,000 萬瓶。一年栽培香菇、木耳、鮑魚菇、金針菇廢棄鋸木屑量分別為 54,000 公噸、 40,500 公噸、 2,250 公噸、 22,500 公噸，合計有 119,250 公噸菇類栽培廢棄木屑產生。菇類栽培與氣候、溫度有密切的關係，大部份的菇類栽培期間皆集中於秋天至春天之間，晚春至初夏這段時間菇農清理、整頓菇舍，將培養過食用菇之廢棄太空包木屑清出菇舍。目前一般菇農對廢棄太空包木屑的處理方式：

1. 直接傾倒於窪地、河道或偏僻小道。
2. 如同燃燒稻草的習慣在空地處加以燃燒，將寶貴的有機物資源浪費掉，而且造成空氣污染。
3. 整包廢棄太空包木屑直接埋置於果園表面。
4. 經過醱酵腐熟過程製成堆肥。

（二）栽培菇類之後廢棄太空包木屑的營養成分

早期 （50 年至 60 年代） 本省養菇事業發達以洋菇栽培製罐為主，但現今香菇、木耳、金針菇、鮑魚菇的栽培比洋菇較普遍，成為主要的食用菇栽培種類。栽培洋菇之堆肥材料配方，主要以稻草為主，然後添加化學氮源、磷源等營養成分為輔 （表一） ，材料先堆積 4 星期後製成洋菇堆肥，然後上洋菇床，經下種、出菇及採收過程，整個採收期間大約 2 個月至 3 個月。栽培香菇、木耳、金針菇的太空包材料配

方，以木屑為主成分，然後添加米糠、豆粉頭、碳酸鈣為輔助成分，每個太空包重量 1 公斤至 1.1 公斤，水分 70 ％ 至 75 ％ （表二） 。香菇、木耳與鮑魚菇栽培及採收期較長，大約 4 個月至 6 個月，而金針菇之栽培與採收期為 2 個月左右。表三是食用菇栽培材料營養成分，鉀含量比磷與氮含量為高。表四為栽培食用菇後廢棄材料 （木屑） 之營養成分，鉀、磷含量皆比栽培食用菇前之含量顯著減少，氮含量提高 （洋菇除外） ，另含有相當量之營養成分，尤其是鈣與鎂的含量非常豐富。

表一、栽培洋菇之材料配方

材　料	用　量
	--------- 公斤 ---------
稻　草	100
消　石　灰	2
硫　酸　銨	2
尿　素	0.5
過　磷　酸　鈣	3

表二、栽培食用菇之材料配方

材　料	木　耳	香　菇	金 針 菇
	---------- 用	量 (公	斤) ----------
木　屑	100	100	100
米　糠	4	6	20
豆　粉	3	1	5
過 磷 酸 鈣	0	0	0.5
碳 酸 鈣	1	0.5	1

表三、食用菇栽培材料養分

菇 類	氮	磷	鉀
	--------------------	%	--------------------
洋 菇	1.30	0.32	1.4
木 耳	0.29	0.87	3.2
香 菇	0.23	0.90	3.3
金 針 菇	0.51	0.99	3.0

表四、廢棄菇類木屑養分

菇 類	氮	磷	鉀	鈣	鎂
	------------------------		%		------------------------
洋 菇	0.88	0.23	0.17	2.92	0.40
木 耳	0.78	0.30	0.07	3.54	0.25
香 菇	0.86	0.39	0.08	2.69	0.28
金 針 菇	0.95	0.90	1.00	0.62	0.56

（三）為何須要經過發酵過程製成堆肥

如果能夠將這些廢棄菇類木屑，以適當方法施用於農田、耕地土壤，據估計每年大約有 415 公噸氮、219 公噸磷、 157 公噸鉀、 1,164 公噸鈣、 177 公噸鎂可以增加土壤的肥力。然而，將廢棄太空包木屑直接施入土壤時，則可能會造成對作物的影響：

1. 使作物病害、蟲害發生的機率增加，因為食用菇類就是一種對纖維素、木質素分解能力很強的菌株，且栽培過程可能夾帶雜菌如 *Fusarium* sp、 *Coprinus* sp 等。在中耕、培土時難免有些作物的根系會被農業機械刮

傷，而使得對作物有害之菌株有侵入植物體的途徑，引起作物病害、蟲害發生的機率增加。

2. 菇類菌株繼續生長與作物競爭養分，使得作物根部周圍溫度太高及缺乏氧氣而窒息。

廢棄菇類木屑若經過堆肥化過程而使性質穩定化，有下列之好處：

1. 減少有機物質中之有害成分，例如酚 (phenol)、 氯化酚 (chlorophenol)、有機酸 (organic acid) 等。
2. 堆肥化過程中溫度達到攝氏 70 度以上，可以將病菌、蟲卵加以殺滅。
3. 避免有機物質直接施入，造成作物根部局部高溫、缺氧。金針菇廢棄木屑經過堆肥化過程，再施用於蔬菜田土壤中，可以增加土壤肥力、增進蔬菜（甘藍、蘿蔔、花椰菜、結頭菜）的產量及縮短生育期所需要的時間。

由目前的試驗資料知道金針菇廢棄木屑，若直接施入土壤中則可能造成蔬菜生長不利、病害的產生。香菇、木耳、鮑魚菇的廢棄太空包木屑直接施用是否對作物有不良影響，則缺乏試驗資料的佐證，需要進行試驗工作之後，才能加以評估直接施用的可行性。不過為了保險起見，此些廢棄太空包木屑還是經過堆肥化過程製成土壤堆肥，使其完全穩定化然後施入農田、耕地土中，才能絕對保證不會對作物造成傷害。

二、 廢棄香菇木屑堆肥製造及對小白菜之肥效之開發

（一）廢棄香菇木屑堆肥堆肥化過程之成分

有三種材料配方，即配方 A ： 木屑添加雞糞 (8：4, w/w) ，配方 B ： 木屑添加雞糞 (16：4) ，配方 C ： 木屑添加雞糞 (32：4) ，木屑主要來自桉樹等闊葉樹種。每配方堆積量為 6 公尺 (長) x 5 公尺 (寬) x 1.5 公尺 (高) ，水分含量調為 60 ％ 左右，堆積處底下有通風管送風，送風量為 10 公升/分鐘 · 每立方公尺，每隔 25 分鐘送風 5 分鐘，每星期用鏟裝機翻堆一次。

堆肥化過程中，堆肥材料的 pH 隨時間而增加，四星期後三種配方的 pH 皆高於 8.0 ，其後酸鹼度漸趨於穩定而相近 （圖一） ，廢棄香菇木屑在堆肥化過程 pH 上升，與三種配方皆添加氮及鈣含量高的雞糞（表五） 有關，前四星期，有機氮經由旺盛的脫氨作用 （deamination） 釋出大量氨氣，造成鹼性的劇增，且雞糞中鈣含量高亦有利鹼性的形成， pH 因而上升，配方 A 之 pH 高於配方 B 及配方 C ，是配方 A 添加較多量雞糞所致。三種配方的電導度皆先下降，至第六星期之後才有再上升的趨勢 （圖二） ，電導度先下降然後再上升的現象，原因可能是剛開始堆肥化時，堆肥材料中含有較多的無機養分，故電導度較高，但隨著堆肥化過程的進行，無機養分被微生物吸收利用而濃度

逐漸減少，電導度相對的逐漸下降，微生物繁衍至某一階段後㵮群數會減少部份菌體死亡分解後釋出無機養分，又堆積材料之水分隨時間逐漸減少，故此時無機養分測值的濃度與鹽類濃度提高，使電導度測值上升，三種配方處理隨著木屑與雞糞混合比例的增加而電導度減小，此與木屑使用量增加，雞糞比例減少，造成雞糞的稀釋作用有關，配方 A 與配方 B 所製造出來的堆肥，電導度皆超過 4.0 dS/cm，故在施用時需要考慮堆肥使用量的限制，以避免過度施用，造成鹽害，反而不利作物生長。有機碳含量隨時間增加而減少，配方 A 的有機碳含量在前四星期內變化大，配方 B 與配方 C 則至第八星期時才有較大的變化（圖三）。配方 A 的有機碳含量減少速度遠比配方 B 與配方 C 快，此與配方 A 添加較多量雞糞有關，雞糞所含之有機碳較容易被微生物當做碳源，有利於菌株族群的繁衍，故有機碳被分解的速度會較快。總體而言三種配方處理的全氮濃度，依雞糞與木屑混合比例愈大，則濃度愈高，且隨著時間而升高（圖四），全氮濃度在堆積材料進行發酵後，第三天時減少，至第七天時才回復接近原來濃度，然後隨著時間而增高，此現象是發酵初期氨氣的揮發過快，而使全氮的濃度暫時下降，三種配方處理在發酵過程中，皆有氨氣揮發損失（圖五），但是堆積材料中有機物被分解、代謝掉的速度可能遠超過氨的揮發損失，故全氮濃度有逐漸上升的趨勢。有機碳與全氮的比值，隨時間而減少，配方 A 者在四星期內迅速減少，

配方 B 、配方 C 在八星期內變化較大，然後趨向於平穩 （圖六） 。

（二）三種配方堆肥對小白菜生長之影響

三種配方堆肥 （成分如表六） ，各有四種施肥處理，處理 I ： 3 kg 盆栽土壤施用 12 kg 堆肥，將堆肥養分含量按 1/5 為有效養分估算，然後以化學肥料補足。施肥處理 II ： 3 kg 盆栽土壤施用 12 kg 堆肥，將堆肥養分含量按 1/2 為有效養分估算，然後以化學肥料補足。施肥處理 III ： 3 kg 盆栽土壤施用 12 kg 堆肥。施肥處理 IV ： 3 kg 盆栽土壤施用化學肥料。處理 I 、處理 II 及處理 IV 均相當於每盆施用 0.360 g 氮、 0.215 g 磷酐、 0.288 g 氧化鉀。化學肥料採用尿素、過磷酸鈣及氯化鉀。

盆栽小白菜的重量，以配方 A 堆肥者比配方 B 堆肥者及配方 C 堆肥者為重，此與配方 A 堆肥所含的養分濃度高於配方 B 堆肥、配方 C 堆肥有關 （表七） 。若將三種配方堆肥養分（氮、磷、鉀）含量，按 1/2 或 1/5 為有效養分估算，然後以化學肥料補足，相當於每盆施用 0.360 g 有效性氮、 0.215 g 磷酐、 0.288 g 氧化鉀（相當於每公頃施用 300 kg 有效性氮、 179 kg 磷酐、 240 kg 氧化鉀），則盆栽小白菜鮮重皆分別比只施用化學肥料為重，小白菜乾重亦有相同的趨勢 （表七） ，此與於生長期間堆肥可供小白菜吸收利用的有效養分量，遠大於全養分量的 1/2 ，及木屑堆肥具有膨鬆性質，可

以增進土壤通氣性、保水能力及生物活性，因而促進土壤的生產力有關。

只施化學肥料處理 （施肥處理 IV） 的小白菜氮與鉀濃度，遠高於只施堆肥處理者 （施肥處理 III） ，且可達二倍之多 （表八與表十） ，只施堆肥處理小白菜的氮濃度與鉀濃度，處於氮及鉀缺乏範圍 （deficiency range），此時氮及鉀成為小白菜生長的限制因子（limiting factor） ，小白菜的生理機能因氮、鉀要素不足而無法順利進行，而影響作物的生長。小白菜磷的濃度，施堆肥料處理者皆高於只施肥化學料處理者 （表九），但只施堆肥處理的小白菜株重卻顯著小於只施化學肥料處理者，顯示磷的效應不顯著，含量均已達豐富範圍，而氮與鉀之效應非常明顯，成為影響之重要因子 （表七、表八、表十） 。施肥處理 I 與施肥處理 II 小白菜的氮濃度與鉀濃度顯著高於只施堆肥處理者，而施肥處理 I 、施肥處理 II 小白菜的磷濃度低於只施堆肥處理者，但施肥處理 I 、施肥處理 II 小白菜的氮濃度、磷濃度及鉀濃度皆和只施化學肥料處理者的植體養分濃度接近（表八、表九及表十） ，且小白菜的株重以施肥處理 I ＞ 施肥處理 II ＞ 只施化學肥料處理 ＞ 只施堆肥處理 （表七） ，顯示施肥處理 I 、施肥處理 II 小白菜的氮、磷及鉀濃度已達到適合小白菜生理機能需要的正常濃度。

三、結論與建議

由上述試驗的結果，可以大致推斷廢棄香菇木屑和雞糞

以 8：4 相互混合，在發酵條件良好情況下，可望在四星期後達到穩定，而趨於腐熟。適量氮源的添加對於加速廢棄菇類木屑的堆肥化是必要的，若氮源添加量不足或不添加氮源，則堆肥化所需要的時間會較長，至少要八星期。氨氣濃度於前六星期內較高，於堆肥化過程中，廢棄香菇木屑與雞糞以 16：4 或 32：4 比例混合比以 8：4 比例混合者，能顯著減少氨氣的生，此與木屑添加量愈多，愈能吸收愈多氨氣有關。

施肥處理 I 、施肥處理 II 及只施化學肥料處理的小白菜植體氮濃度：磷濃度：鉀濃度為 10 至 12：1：16 至 19 ，而只施堆肥處理的小白菜植體氮濃度：磷濃度：鉀濃度為 4 至 5：1：11 （表八、表九、表十），顯然只施堆肥處理的小白菜植體氮濃度與鉀濃度比例偏低，又由表六的資料知道三種配方堆肥的氮濃度：磷濃度：鉀濃度都接近 1.3：1：1 ，比起適合一般蔬菜生長的氮濃度;磷濃度：鉀濃度為 5 至 6：1：6 至 8 來講，堆肥磷濃度的比例偏高，而氮濃度與鉀濃度的比例偏低。故三種配方堆肥若能配合化學氮肥及鉀肥的施用，顯然可增進小白菜氮與鉀的吸收量，而有利於小白菜養分的平衡，使小白菜的產量增加，但加施化學磷肥對小白白菜磷的吸收，及促進小白菜的生長，則效益比較少。

表五、廢棄香菇木屑及雞糞的養分濃度

配方	PH	電導度	全氮	磷酐	氧化鉀	氧化鈣	氧化鎂	有機碳
		dS/m	-------------------------			%	-------------------------	
雞糞	8.7	11.4	2.80	4.20	4.37	20.3	0.22	34.4
木屑	5.6	2.8	1.25	1.62	0.76	2.98	0.08	44.6

表六、廢棄香菇木屑堆肥的養分濃度

配方	PH	電導度	全氮	磷酐	氧化鉀	氧化鈣	氧化鎂	有機碳
		dS/m	-------------------------			%	-------------------------	
A	8.6a†	4.6a	2.46a	4.33a	2.26a	9.63a	0.17a	28.0b
B	8.6a	4.1a	2.37a	4.19a	2.23a	9.12ab	0.16a	28.2b
C	8.3a	3.4b	2.25b	3.99b	2.18a	8.70b	0.15a	30.7a

†：同行數字若英文字母相同則差異不顯著

(P>0.05, Duncan's test)

表七、三種配方堆肥配合化學肥料施用對小白菜

株重的影響（公克/株）

施肥處理	配方 A 堆肥		配方 B 堆肥		配方 C 堆肥	
	鮮重	乾重	鮮重	乾重	鮮重	乾重
I	63.7a	3.9a	63.8a	3.9a	66.9a	3.9a
II	57.4a	3.5a	60.0a	3.6a	60.8b	3.5b
III	26.5c	1.7c	18.1c	1.3c	15.1d	1.7d
IV	35.6b	2.5b	35.6b	2.5b	35.6c	2.5c

表八、三種配方堆肥配合化學肥料施用對小白菜氮濃度的影響

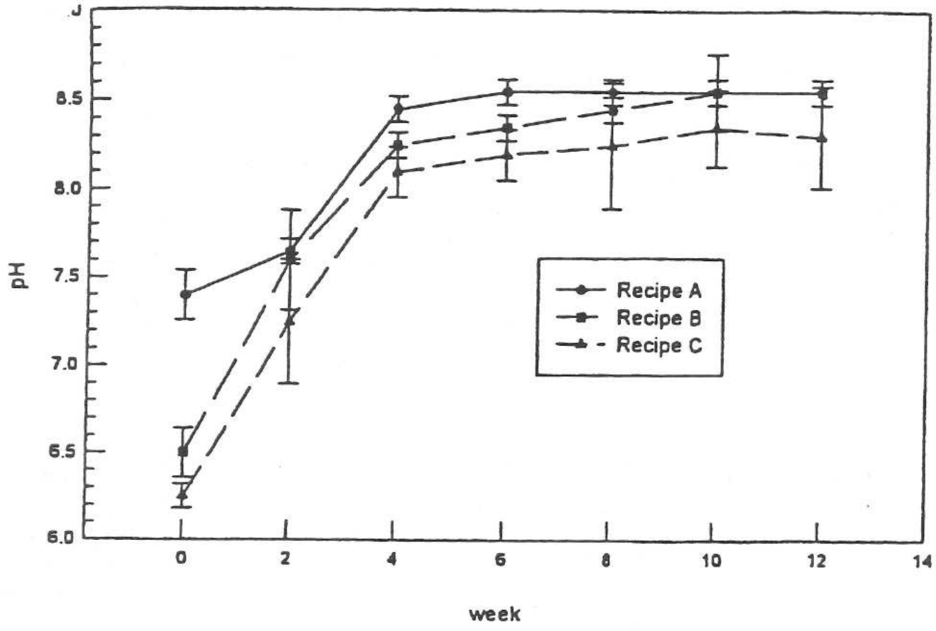
施肥處理	配方 A 堆肥	配方 B 堆肥	配方 C 堆肥
		N (%)	
I	4.9ab	5.0a	5.2a
II	4.5b	4.9a	4.9a
III	2.9c	2.6b	2.3b
IV	5.1a	5.2a	5.1a

表九、三種配方堆肥配合化學肥料施用對小白菜磷濃度的影響

施肥處理	配方 A 堆肥	配方 B 堆肥	配方 C 堆肥
		P (%)	
I	0.49b	0.46b	0.50b
II	0.46b	0.45b	0.47b
III	0.59a	0.59a	0.57a
IV	0.42c	0.42c	0.41c

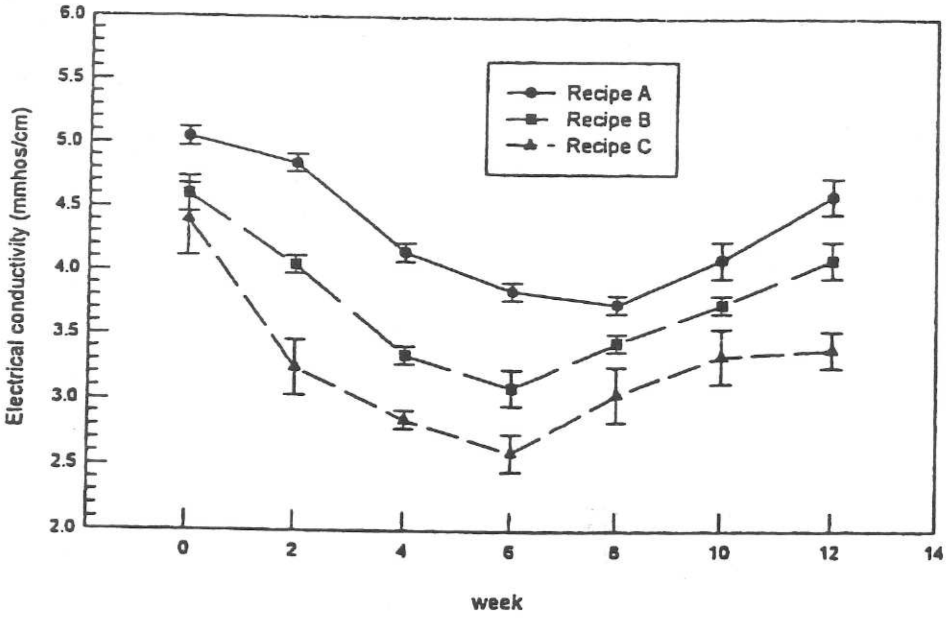
表十、三種配方堆肥配合化學肥料施用對小白菜鉀濃度的影響

施肥處理	配方 A 堆肥	配方 B 堆肥	配方 C 堆肥
		K (%)	
I	7.8a	5.0a	5.2a
II	7.7a	4.9a	4.9a
III	6.4b	2.6b	2.3b
IV	7.6a	5.2a	5.1a



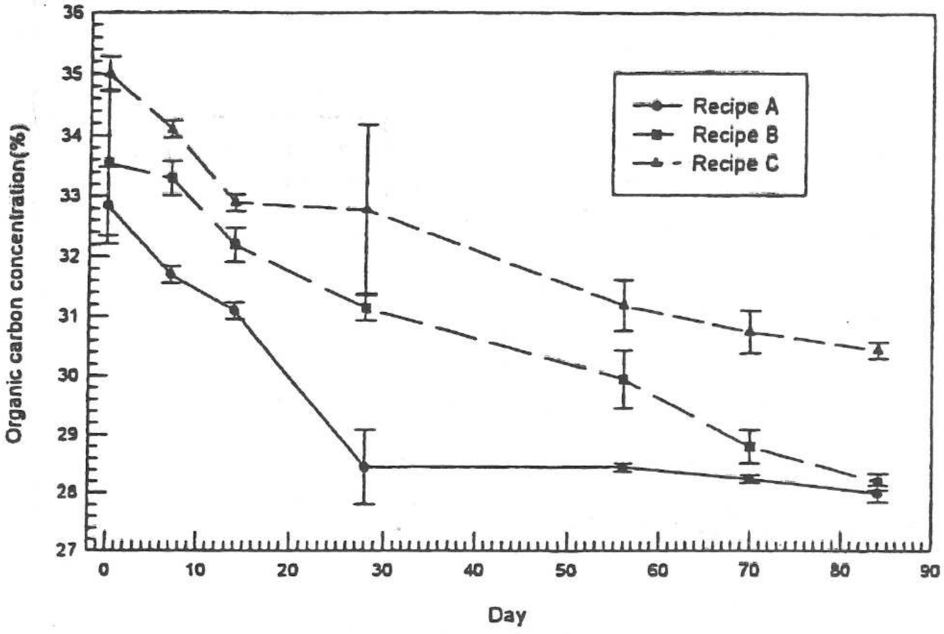
Recipe A: sawdust+chicken feces(8:4). Recipe B: sawdust+chicken feces(16:4).
Recipe C: sawdust+chicken feces(32:4).

圖一、廢棄香菇木屑於堆肥化過程中 pH 的變化



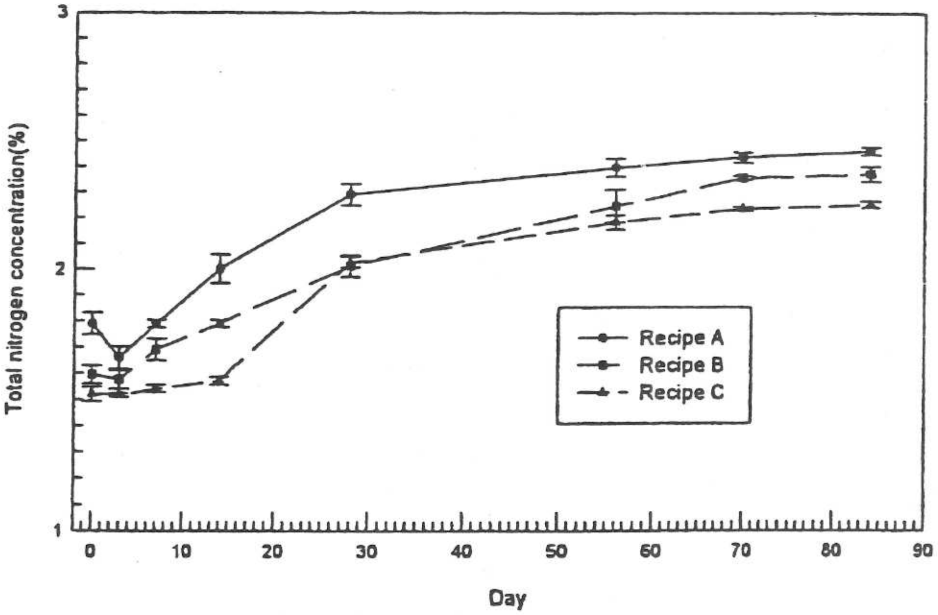
Recipe A: sawdust+chicken feces(8:4). Recipe B: sawdust+chicken feces(16:4).
Recipe C: sawdust+chicken feces(32:4).

圖二、廢棄香菇木屑於堆肥化過程中電導度的變化



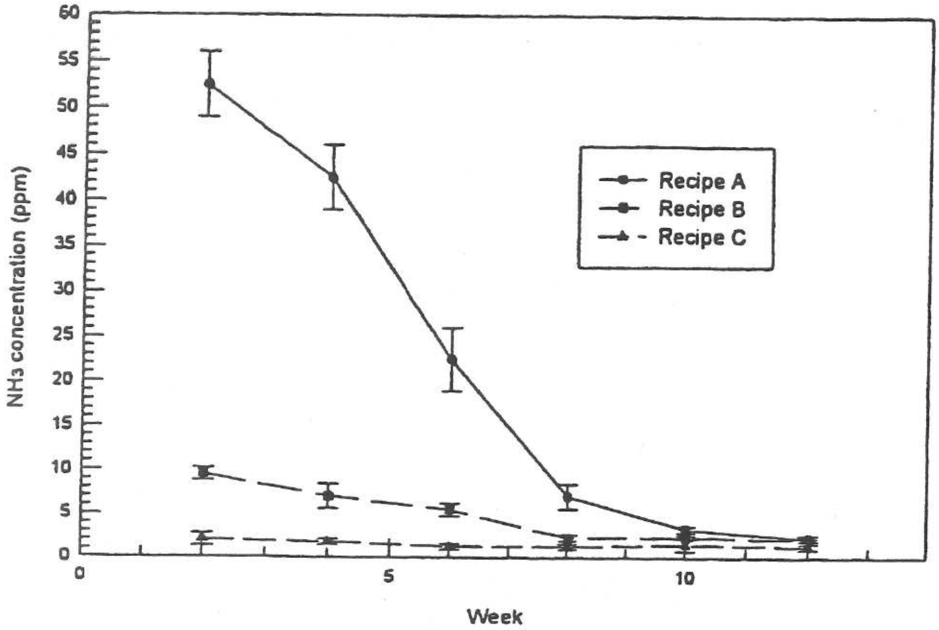
Recipe A: sawdust+chicken feces(8:4). Recipe B: sawdust+chicken feces(16:4).
Recipe C: sawdust+chicken feces(32:4).

圖三、廢棄香菇木屑於堆肥化過程中有機碳濃度的變化



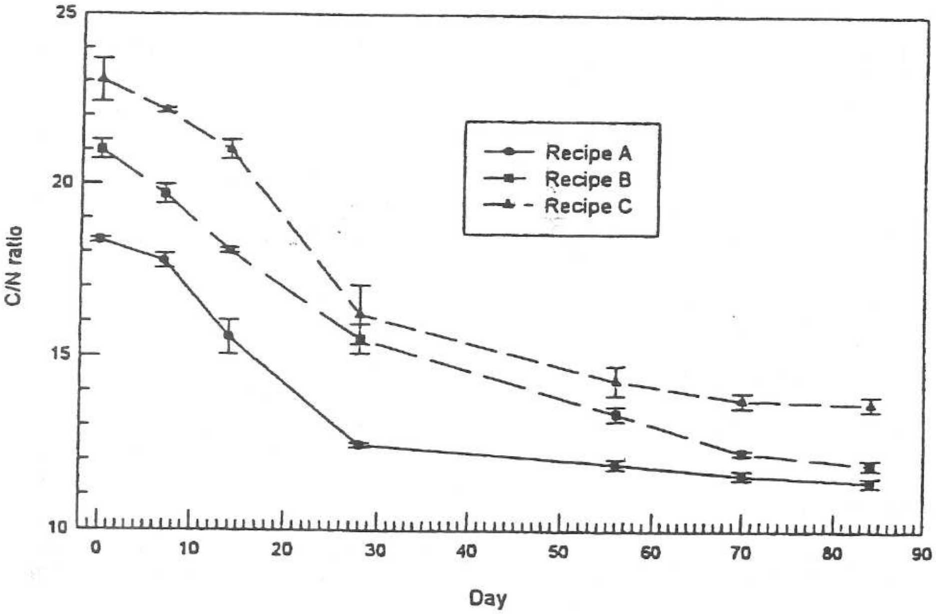
Recipe A:sawdust+chicken feces(8:4). Recipe B:sawdust+chicken feces(16:4).
Recipe C:sawdust+chicken feces(32:4).

圖四、廢棄香菇木屑於堆肥化過程中全氮濃度的變化



Recipe A: sawdust+chicken feces(8:4). Recipe B: sawdust+chicken feces(16:4).
Recipe C: sawdust+chicken feces(32:4).

圖五、廢棄香菇木屑於堆肥化過程中氨氣濃度的變化



Recipe A: sawdust+chicken feces(8:4). Recipe B: sawdust+chicken feces(16:4).
Recipe C: sawdust+chicken feces(32:4).

圖六、廢棄香菇木屑於堆肥化過程中碳氮比值的變化